

УДК 004.05; 004.07; 004.08; 007.85

М. В. Штукин¹, А. Я. Кузёмин¹, И. Б. Сироджа²

¹ Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Проспект Ленина, 14, 61166 Харьков, Украина

² Национальная Академия природоохранного и курортного строительства
ул. Киевская, 181, 95493 Симферополь, Украина

Минимизация риска жизнедеятельности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций

Показано развитие методологии поиска решений для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций с помощью интеллектуальных систем принятия решений на основании микроситуационной базы квантов знаний прецедентов.

Ключевые слова: поиск решений, последствия чрезвычайных ситуаций, микроситуации, кванты знаний, прецеденты.

Введение

Необходимость принятия решений при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) является актуальной задачей для исследования, т.к. нет более важной задачи, чем уменьшение риска при обеспечении жизнедеятельности человека. В связи с этим целесообразно заблаговременно подготовить средства для решения этой задачи. Причем это важно как для обеспечения уменьшения риска жизнедеятельности населения при ликвидации последствий ЧС, так и поиска управленческих решений для контролируемого района. Лицам, принимающим решение (ЛПР) в любом случае предстоит принимать решения в сжатые сроки, с ограниченными ресурсами времени и средств. Подготовка к решению перечисленных выше проблем обычно связана с принятием специальных инструкций и государственных стандартов для ликвидации последствий ЧС, проведением мероприятий по обучению руководящих органов и населения. Кроме того, необходимо спроектировать и использовать интеллектуальные системы принятия решений (ИСПР), моделирования последствий или сценариев развития ЧС и разработке методов системного оценивания последствий ЧС с использованием GRID-систем.

При ликвидации последствий ЧС необходимо уменьшить различные риски улучшить условия жизнедеятельности человека. ЛПР должно учесть множество возможных альтернативных сценариев развития ЧС и определить наиболее эффективные или рациональные действия. Для того чтобы стал возможен акт выбора

© М. В. Штукин, А. Я. Кузёмин, И. Б. Сироджа

из множества альтернатив рациональных решений реализуется задача обеспечения определенной цели или совокупности взаимосвязанных целей выбора, при этом необходимо следующее:

— порождение или обнаружение множества альтернатив (найденных с помощью экспертов и ИСПР), позволяет совершить выбор наилучшего или рационального решения, при этом надо учесть, что представление альтернатив может иметь как количественное, так и качественное представление;

— определение целей, ради достижения которых осуществляется выбор;

— разработка и применение способа сравнения альтернатив между собой, т.е. определение рейтинга предпочтения для каждой альтернативы согласно определенным критериям, позволяющим косвенно оценивать, насколько каждая альтернатива соответствует цели.

Современная тенденция практики принятия решений [1, 2] при ликвидации последствий ЧС состоит в сочетании способности человека решать неформализованные задачи с возможностями формальных методов и компьютерного моделирования, которые представлены диалоговыми, интеллектуальными системами поддержки принятия решений, экспертными системами, адаптивными человеко-машинными автоматизированными системами управления с нейронными сетями и когнитивными системами. Перечисленные выше системы и методы в предлагаемой работе интегрированы в ИСПР.

Основная часть

Для решения поставленной задачи решается *многокритериальная задача поиска решений*, которую *формально* можно представить соотношением [1]

$$z^* = \arg \operatorname{extr}_{z \in Z^C} \Theta [\langle k_j(z) \rangle], \forall j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где Θ — некоторая *регуляризирующая* процедура, позволяющая выбрать *единственное* решение из области *компромиссов* Z^C согласно определенному *принципу оптимальности*.

Из [2] известно, что *допустимое* множество решений $Z = Z^S \cup Z^C$ содержит в общем случае подмножества *согласованных* Z^S и *противоречивых (компромиссных)* Z^C решений. Ни один локальный (частный) критерий эффективности $k_j(z) \in \langle k_j(z) \rangle \subseteq Z^C$ из области *компромиссов* Z^C невозможно улучшить без ухудшения качества хотя бы одного локального критерия из заданного кортежа критериев $\langle k_j(z) \rangle, j = \overline{1, n}$. По определению искомое *оптимальное* решение $z^* \in Z^C$.

Обычно в подобных исследованиях применяют *принцип оптимальности*, при этом поиск решения определяется на множестве частных критериев $\{k_i(z)\}, i = \overline{1, n}$, с помощью *обобщенного скалярного критерия*. В [1] было предложено решение многокритериальной оптимизации путем применения *функции полезности* $\Pi(z)$.

Известные работы [1, 2], которые были направлены на решение упомянутых выше проблем, связаны с разработкой методов исследований, моделей окружающей среды и процессов, определяемых в большей степени причинами возникновения ЧС.

В целом задача моделирования при поиске рациональных решений для ликвидации последствий ЧС в условиях неопределенности формально может быть задана набором вида

$$SS = \langle Mod, R(Mod), F(Mod) \rangle, \quad (2)$$

где SS — множество формальных или логико-лингвистических моделей на базе данных и знаний о ситуации, реализующих определенные интеллектуальные ситуативные функции;

$R(Mod)$ — правило выбора необходимой модели или совокупности моделей в текущей ситуации, которые представляют наиболее влияющие данные на возникновение ЧС, т.е. правил, реализующих отображение $R(Mod): Sit \rightarrow Mod$, где Sit — множество возможных ситуаций (состояний); $R(Mod) = \{R(Mod_1), \dots, R(Mod_i), \dots, R(Mod_m)\}$ — множество правил модификации моделей $Mod_i, i = \overline{1, m}$;

$F(Mod)$ — правило модификации собственно модельной системы SS — ее базовых конструкций $\langle Mod, R(Mod), F(Mod) \rangle$ и, возможно, самого правила $F(Mod)$.

Поиск (вывод) решения в рамках индивидуальной модели Mod_i поддерживается правилами монотонного или, при необходимости, немонотонного и нечеткого вывода. Переход же с одной модели на другую или корректировка модели ведет, как правило, к нарушению («разрыву») монотонности. Этот переход осуществляется посредством реакции на соответствующее событие или, используя нечеткое правило вывода типа $A'^*(A \rightarrow B)$, где A' и A — нечеткие множества, описывающие состояния проблемной области, причем между элементами из A и A' определено нечеткое отношение сходства; B — нечеткое множество допустимых воздействий (реакций); $*$ — операция композиции нечетких множеств [1, 2].

ИСПР должна быть ориентирована на динамические проблемные ситуации связанных с ликвидацией последствий ЧС. Должен поддерживаться быстрый и многокритериальный поиск решений в ИСПР для ЛПР. Причем решение задачи (1) характеризуется неполнотой, неопределенностью, противоречивостью имеющейся для анализа информации и возможностью ее пополнения и корректировки в процессе поиска решений [1].

Невыполнение условий полноты и достоверности поступающей информации в динамических проблемных областях может обуславливаться различными факторами, например, сбоями или выходом из строя преобразователей информации — датчиков (сенсоров), не полным учетом (контролем) внешних воздействий, неполнотой и противоречивостью базы знаний, ошибками ЛПР и т.д. [2]. В этих ус-

ловиях марковская модель не в состоянии дать адекватное описание предметной области (процесса принятия решений), и необходимо использовать немарковскую модель, обладающую памятью и позволяющую учитывать предысторию изменения состояний. Заметим, что качество моделей, а, следовательно, и принимаемых решений, можно попытаться улучшить, если учитывать также информацию о последствиях принимаемых решений, получаемую из базы знаний прецедентов или от модуля прогнозирования ИСПР.

Логический вывод, обеспечивающий выбор предпочтительного алгоритма решения, осуществляется в GRID-системе. Построение стандартных и нейросетевых моделей анализа и прогноза ведется на основе представления данных об окружающей среде в зоне контроля ЧС. Многозначность интерпретации параметров внешней среды приводит к необходимости использования различных моделей нечеткого вывода [1]. Наряду с традиционными моделями практический интерес представляют модели вывода по прецедентам на основе искусственных нейронных сетей [1, 2]. Формирование ансамбля нейронных сетей, обеспечивающего реализацию процедуры нечеткого вывода, осуществляется в зависимости от интегральных характеристик, описывающих закономерности динамики параметров окружающей среды, сценариев развития ЧС и возможностями ЛПП для использования ресурсов при ликвидации последствий ЧС.

Вывод по прецедентам — достаточно часто распространенная процедура логического вывода в системах интеллектуальной поддержки принятия решений.

Обобщенная модель нечеткого вывода по прецедентам, объединяющая модели вывода по аналогии сценариев развития подобных ЧС, удачных управляющих решений и экспертных рассуждений, может быть описана в следующем виде:

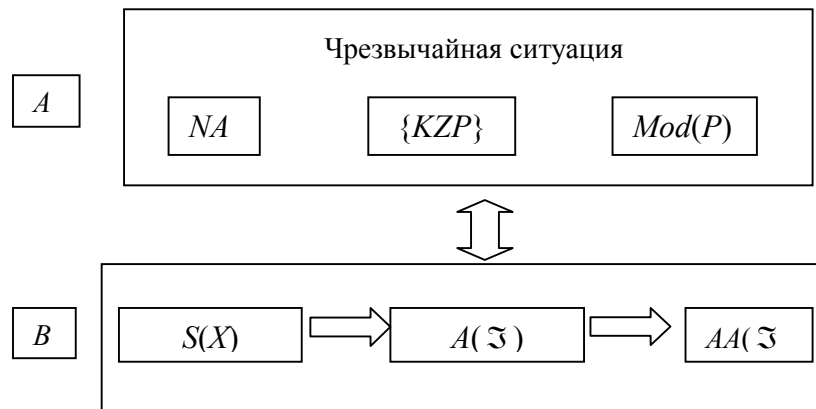
$$Mod(\mathfrak{Z}) = \langle SN(P), Mod(Sit', P), Mod(\Sigma), Mod(Sit', \Sigma), Mod(Sit', \Sigma, \mathfrak{Z}) \rangle, \quad (3)$$

где $SN(P)$ — система нейросетевого представления микроситуационной базы квантов знаний прецедентов; $Mod(Sit', P)$ — модели нечеткого вывода по прецедентам на разных уровнях иерархии решения задач анализа текущей ситуации и прогноза развития ситуации, возможных сценариев развития ЧС $Mod(A, \Sigma)$ и ресурсных возможностей ЛПП для принятия решений $Mod(Sit', \Sigma) M(V)$; $Mod(Sit', \Sigma, \mathfrak{Z})$ — комплексная модель нечеткого вывода по прецедентам для совокупности процессов анализа текущей ситуации, прогноза развития ситуации и ресурсных возможностей ЛПП для принятия решений; $Mod(A)$ — модель анализа альтернатив и формирователя решений по прецедентам.

Предлагаемое исследование направлено на решение задач создания нейросетевой микроситуационной базы квантов знаний прецедентов, характеризующих процессы анализа текущей ситуации, прогноза развития ситуации и ресурсных возможностей ЛПП для принятия решений. Кроме этого, формируется структура нечеткого логического вывода по прецеденту на базе нейросетевых технологий в рамках принципа конкуренции альтернатив. Механизм нечеткого преобразования

информации в GRID-системе вывода предполагает использование методов и моделей, основанных на прецедентах (см. рисунок).

На рисунке приняты следующие обозначения: $\{NA\}$ — нейросетевые ансамбли; $\{KZP\}$ — микроситуационная база квантов знаний прецедентов; $Mod(P)$ — блок моделирования и сравнительного анализа прецедентов; $S(X)$ — система сбора информации о состоянии окружающей среды (с преобразователями информации); $\{A(\mathfrak{Z})\}$ — конкурирующие варианты решений; $AA(\mathfrak{Z})$ — анализ альтернативных решений; $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ — множество данных системы преобразователей информации о состоянии окружающей среды, подаваемые на микроситуационный статистический анализатор данных $A(Sit')$ и нейросетевые алгоритмы $NA(KZ)$; $\langle Sit'(X), \mathfrak{Z}(KZ) \rangle_1, \langle Sit'(X), \mathfrak{Z}(KZ) \rangle_2, \dots, \langle Sit'(X), \mathfrak{Z}(KZ) \rangle_k, \dots, \langle Sit'(X), \mathfrak{Z}(KZ) \rangle_K$ — выходные данные для $A(Sit')$ и $NA(KZ)$; $\langle A(X, \mathfrak{Z}) \rangle_1, \langle A(X, \mathfrak{Z}) \rangle_2, \dots, \langle A(X, \mathfrak{Z}) \rangle_r, \dots, \langle A(X, \mathfrak{Z}) \rangle_R$ — варианты сценариев развития ситуации для выбранных рациональных решений, определяемые в результате анализа альтернатив.



Поток информации в задаче формирования модели нечеткого вывода по прецеденту (A) в GRID-системе (B)

В исследовании используется технология построения микроситуационной базы квантов знаний на основе выделения микроситуации [3]

$$Sit'_i = \langle X, P, Kont, Otn, Pon, \Sigma \rangle,$$

где X — информационные параметры от преобразователей информации об окружающей среде; $P(KZ)$ — прецедентный квант знаний; $\langle KZ, P, \mathfrak{Z}, X \rangle$ — лингвистическая (качественная, смысловая) и количественная единица; $Kont = \langle Otn, Pon(Koordinat, Sit'(X, \mathfrak{R}(\mathfrak{Z}))) \rangle$ — геоинформационный *Koordinat* (привязка

к характеристикам местности, где происходят ЧС), количественный $Sit'(X, \mathfrak{R}(\mathfrak{Z}))$ (отражающий наибольшее влияние параметров на возникновение ЧС) и качественный (изменение риска для человека при удачных управляющих решениях, принятых ЛППР при ликвидации последствий ЧС) контекст микроситуации; $\lim_{X \rightarrow \infty} Otn = \langle P, Pon(Koordinat, Sit'(X, \mathfrak{R}(\mathfrak{Z}))) \rangle$ — отношение; $Pon(Koordinat, Sit'(X, \mathfrak{R}(\mathfrak{Z})))$ — понятие, характеризующее эффективность принятых решений; $\{\mathfrak{Z}(Sit', \mathfrak{R}, \Sigma)\}$ — множество управляющих действий; Σ — ресурс для ликвидации последствий ЧС.

Для экспертной подсистемы ИСПР лингвистическая модель в (2) используется на основе применения соответствующего правила выбора необходимой модели — $R(Mod)$. Прежде всего из текста $TextExp$, полученного от эксперта, необходимо выделить такое множество кандидатов в центральные понятия $cPon$, которые будут связаны с множеством $\{Sit'\}$ — микроситуаций **прецедентов кванта-ми знаний** — $P(KZ)$ [2, 3].

Следует выделить этапы построения множества прецедентов (эталонных) микроситуаций.

1. Описание текущей ситуации предметной области в виде повествовательного текста.

2. Выявление из полученного описания понятий из имеющихся категорий.

3. Поиск связей между данными понятиями.

4. Получение описания БЗ на языке представления микроситуаций.

Понятия Pon для рассматриваемой категории $eKat$ получаем в результате выполнения функции выявления понятия Exp

$$ePon(TextExp) \rightarrow Pon_i,$$

где Pon_i — выявленные понятия, $i = \overline{1, n}$.

Причем имеем

$$Sit' \Rightarrow \{cuPon\},$$

где Sit' — микроситуация, которой соответствуют $\{cuPon\}$ — множество понятий, являющихся *сущностями* и Otn — множество понятий, выражающих *отношение* между другими понятиями.

Технология поиска прецедентов, действий и ресурсов соответствующих ЧС

Шаг 1. Выделение из множества кандидатов $\{cuPon\}$ множества *центральных понятий* или *прецедентов* — $\{cPon\}$ (существительные, которые являются подлежащими в предложениях $TextExp$)

$$FF(cuPon) \rightarrow cPon_i,$$

где FF — функция выявления кандидатов в центральные понятия — $cPon$

Шаг 2. Выделение **контекста** или связей (отношений)

$$Otn = cuPon / \tilde{n}Pon$$

для полученных кандидатов в центральные понятия $cPon$. Задача заключается в выделении подмножества отношений (ассоциаций) $Otn \subset OtnFc$.

Элементами множества отношений Otn являются главные, активные и дополнительные связи. Каждый из элементов множества отношений $OtnPon_i \in Otn$ будет связан с определенным центральным понятием $cPon_i \in cPon$.

Шаг 3. Формируется множество микроситуаций $Sit' = \langle cPon_i, Otn_{cPon_i} \rangle$ — **прецедентов**, в котором элементы множеств Otn_{cPon_i} являются элементами множества $\{Otn(Pon, \mathfrak{Z}, \Sigma)\}$ (понятий, действий и ресурсов). На данном этапе полученные микроситуации еще не являются полными, поскольку элементам множества $\{Otn(Pon, \mathfrak{Z}, \Sigma)\}$ еще не сопоставлены второстепенные понятия.

Шаг 4. **Поиск второстепенных понятий**. В качестве второстепенных понятий могут выступать любые элементы множества кандидатов $\{cuPon\}$, независимо от того попали ли они во множество центральных понятий $\{cPon\}$, множество отношений $\{Otn(Pon, \mathfrak{Z}, \Sigma)\}$ или ни в одно из них. В большинстве случаев второстепенные понятия получают из дополнений к глагольным формам, выделенным ранее. В общем случае второстепенные понятия — это те понятия, на которые ссылаются ассоциации.

Решающее правило представляется в следующем виде:

$$Pr av Resch = Pr izn_i,$$

где $Pr izn_i$ — отдельный признак.

При подсчете значения решающего правила $Pr av Resch$ каждому из признаков $Pr izn_i$ ставится в соответствие значение истины, если данный признак присутствует у понятия и ложь в противном случае.

Основы выбора стратегий по использованию прецедентов мониторинга ЧС

Аксиома. Для двух микроситуаций Sit'_1 и Sit'_2 некоторой ситуации Sit верно следующее утверждение. Если в описании ситуации Sit микроситуация Sit'_1 опи-

сана раньше чем микроситуация Sit'_2 , то можно говорить, что между микроситуациями Sit'_1 и Sit'_2 прошел промежуток времени $\Delta t \geq 0$ [3].

Рассмотрим стратегию $Strateg_{Kateg}$, построенную для категории Kat . Для примера каждому из классов понятий $KLPon_0, KLPon_2, KLPon_3, KLPon_4, KLPon_5$ соответствуют точки $pr_0, pr_2, pr_3, pr_4, pr_5$, каждой из дуг prD_j множества $\{prDg\}$ соответствует определенная группа дуг prD_j из множества $\{prD\}$. Например, отношению наследования $prG_1(pr_3, pr_0)$ соответствует переход $pr_{0,3}$. Из точки pr_0 в точку pr_2 и из точки pr_2 в pr_5 имеется несколько переходов — 2 и 3 соответственно.

Движение по графу стратегии $Strateg_{Kateg}$ начинается с изначального перехода prD_0 , успешность которого ведет к изначальной точке pr_0 . Далее проверяется возможность осуществления переходов prD_2 или prD_3 .

Теорема. Если понятие Pon_2 наследует понятие Pon_1 — $Pr(Pon_2, Pon_1)$ в некоторой категории понятий Kat , то понятие Pon_2 может замещать в микроситуациях понятие Pon_1 без потери смысловой нагрузки и информативности данной микроситуации.

Доказательство. В соответствии со структурой категории и стратегией идентификации понятия для идентификации понятия Pon_2 необходимо утвердительно ответить на решающие правила $pr_1, pr_{k_1}, \dots, pr_{k_n}, pr_2$, соответствующие понятиям $KLPon_1, KLPon_{k_1}, \dots, KLPon_{k_n}, KLPon_2$. Это означает, что выделив проблемное понятия как Pon_2 , нами были пройдены указанные решающие правила, в том числе и pr_1 , которое, относится к понятию Pon_1 . Значит понятие Pon_2 может восприниматься как понятие Pon_1 , обладая его характеристическими признаками.

Технология выбора последовательности понятий $\{Pon\}$ для стратегии мониторинга ликвидации последствий ЧС

1. Эксперт принимает решение о возможности перехода prD_0 .
2. Если переход невозможен, то считается, что прецедентное понятие Pon_p не может принадлежать категории Kat , и процесс классификации в данной категории прекращается.
3. Переходим к следующей точке pr_i , в которую приводит нас разрешенный положительно переход prD_i .
4. Получаем множество возможных переходов $prD_k, k \in \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$, где m — количество дочерних классов для класса понятий Pon_i в категории Kat .
5. Если число переходов равно нулю, то запоминаем класс, соответствующий точке текущей pr_i в списке кандидатов $\{Kand\}$ родительских понятий для клас-

сифицируемого Pon_p и возвращаемся в точку, из которой пришли в точку pr_i . Если точка возврата pr_0 , то заканчиваем поиск.

6. Проверяем возможность осуществления каждого из переходов, полученных на шаге 4 (см. п. 5).

7. Для каждого из возможных переходов продолжаем работу, начиная с п. 3 и возвращаясь в п. 7 после завершения просмотра.

8. Возвращаемся в ту точку, из которой пришли в точку pr_i . Если точкой возврата является pr_0 , то заканчиваем поиск.

Модель микроситуации отображает квант знаний прецедента для ЧС, который определял возникновение и эффективность принятых решений при ликвидации последствий ЧС. Причем этот квант может после сравнения с текущими, контролируруемыми параметрами окружающей среды дать возможность выбрать для ЛПП на множестве эффективных решений рациональное решение (1). Выбор производится на основе оценки близости к прецеденту контролируемых информационных параметров окружающей среды и геоинформационного контекста.

Для выбора рационального решения из структуры модели элементов в (2) используют правило выбора необходимой модели оценки эффективности принятых решений — $R(Mod)$. На заключительной стадии выбора решения для микроситуации из множества рациональных решений при моделировании необходимо выделить «субъект *Subjkt* – управляющее действие \mathfrak{Z} – объект ресурсов Σ » и учесть риски от принятых решений

$$Sit' = \langle \mathfrak{R}, \mathfrak{Z}, \Sigma \rangle,$$

где \mathfrak{R} — риск, который в модели микроситуации имеет количественную меру опасности для жизнедеятельности человека, зависящего не только от непосредственного действия ЧС, но и от принятых решений при ликвидации последствий ЧС с учетом последствий, которые могут быть экономическими, социальными, экологическими и т.д.

При этом целесообразно оценивать общий ущерб от последствий ЧС и принятых решений ЛПП. Ущерб в данном случае представляет: потери (убытки) в производственной и непроизводственной сфере жизнедеятельности человека, вред окружающей среде, исчисляемый в натуральных единицах или денежном эквиваленте.

Риск \mathfrak{R} будет тем больше, чем больше вероятность проявления соответствующей опасности для жизнедеятельности человека. Поэтому риск \mathfrak{R} — произведение вероятности опасности последствий ЧС и принятых для ликвидации последствий ЧС решений на величину ожидаемого суммарного ущерба.

Установление приоритетов рисков предполагает упорядочивание факторов риска с целью отбора наиболее значимых с точки зрения влияния на жизнедеятельность человека. Эти факторы следует накапливать в микроситуационной базе квантов знаний прецедентов и подвергнуть дальнейшему детальному анализу и учитывать при принятии решений.

На этапе выбора способа обращения с рисками определяют способ обращения с выбранными видами рисков и разрабатывают сценарные планы, предписывающие действия в случае наступления неблагоприятных событий.

Выводы

В исследовании использована модель ситуации, имеющая априорную неопределенность относительно объектов, для которых случайные события объединены причинно-следственными связями, что позволяет прецедентные модели ЧС адаптировать для ситуации, которую мы контролируем для минимизации времени и средств поиска эффективных решений при ликвидации последствий ЧС.

Предложен метод решения проблемы *знаниеориентированного* принятия решений с учетом *многокритериальности, неопределенности и риска* на основе использования средств *инженерии квантов знаний, микроситуаций и интеллектуальных* информационных технологий, который, в отличие от существующих, позволяет повысить качество принимаемых решений при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций с минимальными затратами времени и средств.

Также получил дальнейшее развитие метод вывода на прецедентной микроситуационной базе квантов знаний за счет применения понятий, отношений и категорий в экспертных оценках в рамках принципа конкуренции альтернативных решений, которые основаны на преобразовании информации в GRID-системе, что позволяет за счет адаптивного выбора моделей и методов поиска рациональных решений значительно снизить затраты на время принятия решений.

1. *Сироджа И.Б.* Многокритериальная оптимизация в интеллектуальных системах поддержки принятия решений / И.Б. Сироджа, А.Я. Кузёмин, М.В. Штукин // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2012. — Т. 14, № 2. — С. 106–115.

2. *Sirodga I.B.* Multi-Objective Decision Making Under Conditions of Uncertainty and Risk of Knowledge Quantum Engineering Means. International Journal / I.B. Sirodga, O.Ja. Kuzomin, M.V. Shtukin // Information Technologies & Knowledge. — 2012. — Vol. 6, N 4. — P. 377–384.

3. *The Use of Situation Representation when Searching for Solutions in Computer Aided Design Systems.* International Journal / Kuzemin A., Sorochan M., Yanchevskiy I., Torojev A. // Information Theories & Applications. — 2005. — Vol. 11, N 1. — P. 101–107.

Поступила в редакцию 08.08.2013